

Expression de besoins, prescriptions et applications en qualité de ciel nocturne pour les sites astronomiques

REVISION		-	A	B	C
Rédigé par :	Date : Nom : Fonction : Visa :	30 Sept 2010 Thierry Midavaine AFA			
Vérifié par :	Date : Nom : Fonction : Visa :	Thierry Lépine Institut d'Optique			
Approuvé par :	Date : Nom : Fonction : Visa :				

REVISION	OBJET
-	Version V1 du 30 septembre 2010
A	
B	
C	

Ce document est mis à jour périodiquement. Vous devez vérifier si une version plus récente a été publiée par l'AFA sur le site www.afanet.fr



Sommaire

Expression de besoins, prescriptions et applications en qualité de ciel nocturne pour les sites astronomiques.....	1
Sommaire	2
1 Introduction	2
2 Sigles et acronymes	3
3 Documents de référence	3
4 Analyse du projet de décret et recommandations.....	4
5 Précisions et conditions	4
6 Expression de besoins sur la qualité de ciel nocturne pour l’astronomie amateur.....	5
7 Expression de besoins pour l’astronomie professionnelle	5
8 Prescriptions astronomiques.....	5
9 Validation du respect des prescriptions et de la satisfaction du besoin.	6
10 Les sites astronomiques.....	7
11 Conclusion.....	8

1 Introduction

Ce document répond à la demande du Ministère de l’Ecologie formulée dans un e-mail du 26 août 2010 suite à la mise en consultation du projet de décret d’application prolongeant l’article 173 de la loi du 12 juillet 2010. Ce document de travail présente l’analyse de l’AFA intégrant un projet de prescriptions pour les sites astronomiques. Elles seront à appliquer dans un premier temps aux sites astronomiques exceptionnels dont vous avez demandé l’identification. Au préalable nous proposons l’expression de besoin de qualité du ciel nocturne pour un site astronomique. Cette expression de besoin à satisfaire justifie la proposition de prescriptions pour les sites astronomiques. Nous proposons les moyens de mesure à réunir pour laquelle nous proposerons une procédure de validation du respect ou non de ces prescriptions. Le contenu de ce document résulte des travaux menés depuis 2007, confiés pour parties à l’Institut d’Optique (IOGS : Palaiseau et Saint-Etienne) et plus particulièrement à Optoservice, sa junior entreprise, à des élèves ingénieurs comme projet d’étude, et à des étudiants dans la Filière Innovation Entrepreneur (FIE).

Le contenu porte tout d’abord sur :

- une analyse du projet de décret,
- une expression de besoin pour les différentes pratiques de l’astronomie depuis les pratiques à l’œil nu jusqu’aux différentes pratiques avec des instruments astronomiques par les amateurs avertis et leurs associations.

Ces expressions de besoin pourront être consolidées avec celles des astronomes professionnels et celles exprimées pour la faune et la flore représentées par les botanistes, ornithologues, entomologistes et spécialistes de la faune nocturne et leurs associations respectives.



Ce document est associé à la spécification technique (D10), pour les appels d'offres de renouvellement de l'éclairage urbain proposée par l'AFA.

La motivation de ces travaux repose entre autre sur les mesures comparées de Christopher Elvidge du NOAA avec le satellite DMSP-OLS (D4) réalisées entre 1993 et 2000 et les modélisations de luminance du ciel nocturne de Pierantonio Cinzano publiés en 2000 et 2001 (D5).

Ce document dans sa première version V1 est destiné à évoluer et à contribuer aux travaux des groupes de travail que vous souhaitez mettre en place pour la finalisation des prescriptions contraignantes de préservation de l'observation du ciel étoilé pour les sites astronomiques exceptionnels.

2 Sigles et acronymes

ADU	A Définir Ultérieurement
AFA	Association Française d'Astronomie
CCTP	Cahier des Clauses Techniques Particulières
DMSP-OLS	Defense Meteorological Satellite Program – Operational Linescan System
FIE	Filière Innovation Entrepreneur
IOGS	Institut d'Optique Graduate School
LNE	Laboratoire National d'Essais
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
SQM	Sky Quality Meter
SQML	Sky Quality Meter Lense
UAI	Union Astronomique Internationale

3 Documents de référence

D1 : étude n°1 de l'AFA réf : 06 312 AFA/RE 01 rapport Opto Services pour l'Association Française d'Astronomie Etude Scientifique de la pollution lumineuse édition 3, Octobre 2007.

D2 : étude n°2 de l'AFA : Projet FIE Pollux, rapport technologique Institut d'Optique Graduate School juin 2008

D3 : Visual Astronomy of the Deep Sky, Roger N. Clark Cambridge University Press, Sky Publishing Corporation 1990

D4 : C. D. Elvidge et al : Radiance Calibration of DMSP-OLS Low-Ligt Imaging Data of Human Settlements. Remote sens environ 68:77-88 (1999).

D5 : P. Cinzano, F. Falchi and C. D. Elvidge : Naked-eye star visibility and limiting magnitude mapped from DMSP-OLS satellite data. Mon. Not. R. Astron. Soc. 323, 34-46 2001

D6 : T. Midavaine, E. Belhaire, S. Pelliard : Solid State Low Light Level Imaging, From UV to IR, Needs and Solutions. Optro 2010 OECD conference center Paris France 3-5 Feb 2010.

D7 : H. Richard Blackwell : Contrast Thresholds of the Human Eye. Journal of the Optical Society of America Vol 36 N°11 nov 1946.

D8 : document de référence sur l'éblouissement par exemple rapport du Centre Technique d'Arcueil Didier Riehl.

D9 : Thierry Lépine, Jean-Louis Meyzonnette : Bases de Radiométrie Optique (2eme édition) Edition Cépaduès juin 2001.

D10 : Spécification Technique d'un Eclairage Urbain. AFA Novembre 2008 Th. Midavaine



4 Analyse du projet de décret et recommandations

De manière générale, notre motivation première porte sur les résultats effectifs appréciables depuis les sites astronomiques et non sur les solutions techniques et les moyens d'éclairage. Ces résultats portent, qualitativement à l'œil nu et quantitativement avec des instruments, sur la réduction de la luminance parasite du fond de ciel observée depuis les sites astronomiques. En effet les nouvelles technologies de sources artificielles, les nouvelles géométries de luminaires peuvent conduire à des réductions de la consommation et à des augmentations de l'efficacité des éclairages en zone urbaine sans avoir d'impact significatif sur la luminance du fond de ciel.

La préservation de l'observation du ciel étoilé conduira aux prescriptions les plus contraignantes. Nous apprécions le fait que la loi et le décret porte sur toutes les sources de lumière artificielle et ne se limite pas à l'éclairage urbain.

Atteindre un objectif de luminance du fond de ciel depuis un site astronomique passe par une étude de chaque site. En effet toutes les caractéristiques associées à chaque site telles que : l'altitude, la nature et la densité des aérosols, le relief de la région, l'albedo des sols et la répartition géographique de l'urbanisation conduiront à un impact différent d'un même type d'éclairage urbain par exemple.

Les diagnostics photométriques quantitatifs à partir de données spatiales ont été publiés il y a 10 ans par C. D. Edvidge et P. Cinzano et al (D4) et (D5). Nous pensons que cet état des lieux est à mettre à jour aujourd'hui en commandant les acquisitions des données spatiales récentes et en réalisant leur exploitation pour le territoire français.

Enfin, la France doit se doter d'une entité professionnelle indépendante universitaire, publique ou privée de référence en expertise sur le domaine. Cette entité doit en particulier réaliser le ou les bancs d'étalonnage des moyens de mesure susceptibles d'être utilisés par tous les acteurs impliqués (Associations, Eclairagistes, Experts, Syndicats, Services techniques des collectivités). Les sources et senseurs étalons employés sur ces bancs devront faire l'objet d'un contrôle annuel pour assurer la stabilité de ces moyens par le LNE qui peut ainsi garantir leur rattachement au niveau international.

5 Précisions et conditions

La métrologie radio-photométrique de précision est un domaine difficile. En particulier il est difficile et coûteux de réaliser des moyens de mesure absolue permettant d'atteindre des précisions inférieures à 20% (D9) dans le temps. Les conditions sous entendues par la pratique de l'observation astronomique nocturne réclamant de faibles niveaux de pollution lumineuse sont les conditions de nuit de niveaux 4 (niveaux utilisés pour la caractérisation des niveaux de nuit cf. D6) elles se définissent par :

- Le Soleil est à une hauteur inférieure à -18° après la fin du crépuscule astronomique le soir et avant le début du crépuscule astronomique le matin)
- La nuit est sans Lune
- Le ciel est entièrement dégagé, exempt de nuages ou de brumes.

Le défaut de transmission atmosphérique est au premier ordre responsable de la diffusion de la lumière suivant la loi de Rayleigh par les molécules de l'air et suivant la loi de Mie pour les aérosols.



Les conditions de visibilité à l'œil nu s'entendent pour des êtres humains dotés d'une acuité visuelle minimum de 10/10 éventuellement corrigée (notons qu'en vision nocturne les êtres humains sont majoritairement affectés par la myopie nocturne). Sa caractérisation est décrite dans les documents de H. R. Blackwell et R. N. Clark (D3 et D7).

6 Expression de besoins sur la qualité de ciel nocturne pour l'astronomie amateur

Au même titre que les paysages ruraux, les forêts, les côtes ou les montagnes, le ciel nocturne est un patrimoine naturel à préserver. L'objet de cette expression de besoin est d'assurer que l'éclairage urbain est compatible d'une part avec la pratique de l'astronomie avec ses yeux et éventuellement avec des instruments optiques et d'autre part avec la pratique de l'astronomie amateur exploitant des cameras utilisant des capteurs CCD ou CMOS ou encore des photocathodes. Ainsi le besoin, pour la pratique à l'œil nu, s'exprime par : assurer la visibilité de la Voie Lactée et assurer la visibilité d'une étoile de magnitude 6.0 au minimum, depuis 20° au dessus de l'horizon dans toutes les directions jusqu'au zénith (cf. D1 et D3). Ce besoin est exprimé pour des sites astronomiques, ils sont situés à l'extérieur des secteurs urbanisés. Depuis les zones et sites astronomiques d'observation, les observateurs et les moyens d'observation ne peuvent recevoir un éclairage direct susceptible de les éclairer même à distance afin de neutraliser tout effet d'éblouissement (D8).

Enfin, pour la pratique avec les cameras électroniques l'expression de besoin est complétée par une luminance zénithale du ciel nocturne supérieure à 21.4 magnitude / arcsec² en bande V. Cette luminance spectrale maximale doit être aussi caractérisée dans tous le domaine spectral de sensibilité du Silicium transmis par l'atmosphère de 350nm à 1,1µm soit pour les bandes U, B, R, I et J (ADU). Rappelons que la luminance moyenne du fond de ciel naturel est de 21.6 mag/arcsec² en bande V.

7 Expression de besoins pour l'astronomie professionnelle

Elle ne se limite pas à la bande spectrale de l'œil ou à la réponse spectrale des détecteurs au Silicium de 350nm à 1.1µm.

Paragraphe à compléter par des représentants de l'astronomie professionnelle.

...

8 Prescriptions astronomiques

Ce paragraphe est ébauché et à formaliser par l'activité du groupe de travail astronomie.

Donc en premier lieu la prescription définit les luminances maximales mesurée sur le fond de ciel dans des directions spécifiées, dans la bande spectrale de l'œil en V en premier lieu et dans les bandes spectrales accessibles par les capteurs au silicium en magnitude par arcsec². Elles sont supérieures à :

	Au zénith	à une hauteur de
U	ADU...	
B		
V	21.4	
R		



I
J

La luminance crête apparente des scènes terrestres vue depuis le site astronomique considéré, pour une résolution de 1 arcmin est toujours inférieure à la valeur en référence dans la spec D10 exigence E9.

La réalisation d'une étude du site astronomique et des implantations urbaines environnantes est sans doute incontournable pour définir un zonage : Zone 1, 2, 3... Il est défini par une étude du relief, de la nature et de la concentration des aérosols et de la géographie de l'urbanisation. Pour chacune des zones il est prescrit une quantité d'éclairage totale du flux rayonné vers le ciel soit directement, soit réfléchis par le sol (pondérée par ρ l'albedo des sols ou surfaces) en lumen ou en Watt dans la bande de 350nm à 1,1 μ m.

Zone 1...ADU

Zone 2...

Zone 3...

Les prescriptions sont définies et justifiées par l'étude de chaque site avec des déclinaisons de la spécification D10 à appliquer sur chaque zone. La satisfaction du besoin est atteinte par le respect des prescriptions astronomiques.

9 Validation du respect des prescriptions et de la satisfaction du besoin.

La validation du respect des prescriptions et de la satisfaction du besoin passe par un certain nombre de mesures. Nous pouvons les regrouper en deux familles, d'une part les mesures déterminant la luminance du fond de ciel et d'autre part les mesures permettant de diagnostiquer l'origine des contributeurs à la pollution lumineuse. La simple mesure de la luminance du fond de ciel par un SQM ou SQML par exemple n'est pas suffisant pour valider la satisfaction du besoin. En effet celle-ci est naturellement entachée d'une fluctuation par les variations du Night Glow (D6) et par les variations de la diffusion et de l'absorption de l'atmosphère.

A ce stade, les mesures et moyens que nous proposons sont les suivants :

1. Mesure de la transmission atmosphérique par exemple en mesurant le niveau de signal de quelques étoiles de référence obtenu par un capteur et son optique étalonnée.
2. Mesure de la diffusion de l'atmosphère la nécessité de cette mesure sera à valider en cas d'ambiguïtés sur l'analyse des mesures de luminance et de transmission atmosphérique.
3. Mesure du spectre de la luminance du fond de ciel
4. Mesures au SQML étalonné de la luminance moyenne du ciel au zénith afin de pouvoir rattacher une telle mesure aux atlas tels que celui du D5 ou des mesures spatiales et dans les quatre directions Nord, Ouest, Sud et Est à 45° de hauteur. Ou encore procéder à une mesure globale avec un SQM dont le champ de mesure est plus large.
5. Cartographie de la Luminance du ciel avec un imageur de type « all sky » ou avec un imageur numérique doté d'une optique fish eye l'ensemble étant étalonné en luminance absolue.



6. Sur les 360° de l'horizon des surfaces terrestres visibles depuis les sites, mesurer la luminance apparente des zones dotées d'un éclairage artificiel. Le but est de vérifier le non dépassement d'un seuil traduisant un éclairage direct ou par des surfaces à fort albédo proche de la source.

Le groupe de travail doit proposer les instruments à appliquer pour ces différentes mesures et s'assurer de qui pourra effectivement acquérir et dépouiller ces mesures. Les instruments de mesure sont calibrés sur un ensemble de bancs conservés et maintenus par une instance professionnelle nationale et contrôlés périodiquement par le LNE.

Enfin, à l'échelle nationale, il est légitime de commander l'acquisition de la luminance nocturne vue depuis l'espace du territoire national, annuellement afin de diagnostiquer les progrès réalisés ou d'identifier les éventuels contrevenants.

10 Les sites astronomiques

Les sites astronomiques peuvent se décliner en sept typologies :

1. Les observatoires astronomiques professionnels où des acquisitions à très haute sensibilité dans de larges domaines spectraux avec des instruments de grands diamètres sont utilisés en mission.
2. Les stations UAI (recensées pour l'Union Astronomique Internationale par le Minor Planet Center) elles sont constituées par des observatoires amateurs ou professionnels.
3. Les installations fixes des associations astronomiques
4. Les installations fixes d'amateurs individuels
5. Les lieux d'observation ou de rassemblement avec des équipements mobiles d'amateurs ou des associations astronomiques
6. Conserver et protéger des zones préservées identifiables sur la carte AFA
7. Reconstituer des zones préservées accessibles dans des secteurs à forte densité de population et éloignées des zones précédentes

La diversité des sites astronomiques et la diversité des pratiques de l'astronomie (D11) peut rendre vain le classement des sites pour dégager 10 sites astronomiques exceptionnels français. Toutefois nous pouvons effectivement proposer un certain nombre de critères quantifiables pouvant les caractériser. Notre groupe de travail astronomie a ainsi proposé en juin, une liste de critères à renseigner pour tous les sites astronomiques proposés. Pour chaque site identifié par son nom, localité, nom d'un observatoire et d'une association les critères suivants sont chiffrés :

- N° du site UAI caractérisant que le site contribue à des programmes de l'UAI
- Ses coordonnées Longitudes et Latitudes, l'éloignement du site des autres sites contribue à son caractère exceptionnel
- Son altitude
- Le bassin de population
- Sa localisation ou non dans un parc national ou une zone naturelle protégée
- Le niveau de luminance du fond de ciel ou sa couleur sur les cartes de pollution lumineuse
- Le diamètre de l'instrument le plus grand



- Le nombre d'instruments opérationnels
- Le nombre de nuits par an d'activités
- Le volume hommes.nuits ou de public accueilli par an
- Quel est le budget annuel du site pour ces activités

Ainsi nous proposons une analyse multicritère pour sélectionner et classer les sites astronomiques proposés.

A ce stade les 10 sites astronomiques exceptionnels sont dans l'ordre:

...

Le groupe astronomie devrait délivrer cette liste au mois d'octobre.

11 Conclusion

L'humanité doit faire face actuellement à de véritables défis : le réchauffement climatique, les menaces sur la biodiversité et la disparition proche des énergies fossiles.

Nous en sommes tous conscients, et votre ministère en premier. Il n'y a pas de solution miracle globale.

La communauté des astronomes (amateurs et professionnels) souhaiterait que le ciel nocturne fasse partie intégrante du patrimoine de l'humanité et qu'à ce titre, il soit préservé de façon à permettre à tous d'en jouir. Hubert Reeves disait à juste titre que nous sommes tous poussières d'étoiles. Le ciel est notre patrimoine et nous devrions tous pouvoir admirer la Voie Lactée qui est notre vaisseau spatial.

Ce souhait passe entre autres par une réduction et/ou un meilleur contrôle des éclairages de tous types, qui se sont hélas trop développés depuis quelques dizaines d'années.

Notre plan d'action est un point de départ et il a le mérite de proposer des pistes et des solutions moyennant des contraintes raisonnables. Il répond à sa façon et modestement aux grands défis énoncés précédemment.

Nous souhaitons sa mise en œuvre dans le cadre du processus que vous avez engagé. Nous sommes conscients qu'il est à ce stade probablement imparfait, mais nous comptons sur les retours d'expériences des différents acteurs pour l'améliorer et nous espérons qu'il sera possible de l'étendre à d'autres sites dans un futur proche.

Peut-on espérer qu'un jour, il sera possible de voir la Voie Lactée depuis plus de 80 % de notre territoire national ? Parce que préserver et respecter le ciel sont indispensables pour nous permettre de prendre conscience de notre place au milieu des planètes, des étoiles et des galaxies ; et pas seulement au milieu d'écrans et de blocs de bétons, des silhouettes évanescents mais des êtres humains, Curieux, dignes.

